

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 62115326
PUBLICATION DATE : 27-05-87

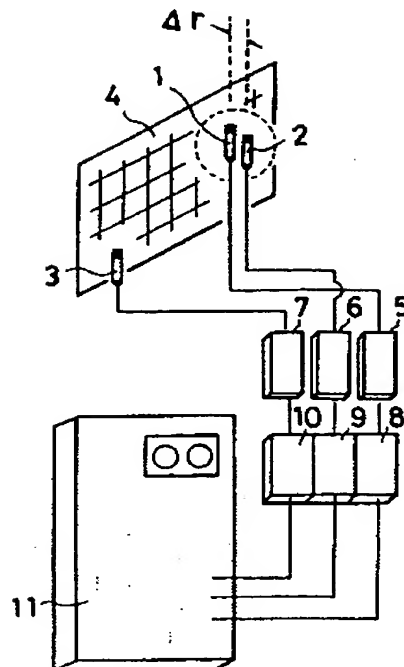
APPLICATION DATE : 14-11-85
APPLICATION NUMBER : 60255710

APPLICANT : ISUZU MOTORS LTD;

INVENTOR : SENDA TATSURO;

INT.CL. : G01H 3/00

TITLE : ESTIMATING METHOD FOR
ACOUSTIC RADIATION STATE



ABSTRACT : PURPOSE: To estimate the directivity of sound and a sound pressure level at long distance by measuring the speeds and phases of nearby particles nearby a vibration surface and knowing the vibration mode of the vibration surface.

CONSTITUTION: Signals of three channels from moving microphones 1 and 2 for sound pressure measurement at two nearby points and a microphone 3 as a phase reference fixed at an optional constant point in the sound field of the acoustic vibration surface 4 are sampled at the same time through noise meters 5, 6, and 7 and low-pass filters 8, 9, and 10. Those are processed by the fast Fourier transformation of a computer 11. Namely, the frequency response function between a phase reference signal and two nearby points is calculated and a phase error base upon phase characteristics of microphones 1 and 2 used at the two nearby points is corrected to fix the phase of sound pressure at the two nearby points. Thus, the sound pressure and phase at the two nearby points which are found at specific plural frequencies are used to find the particle speed and phase from a specific expression.

COPYRIGHT: (C)1987,JPO&Japio

27 JUN 1987

Montaget

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭62-115326

⑤ Int. Cl.

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和62年(1987)5月27日

G 01 H 3/00

Z-7359-2G

A-7359-2G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑭ 発明の名称 音響放射状態の予測方法

⑯ 特 願 昭60-255710

⑰ 出 願 昭60(1985)11月14日

特許法第30条第1項適用 昭和60年5月21日 社団法人自動車技術会主催の自動車技術会学術講演会において「学術講演会前刷集851」により発表

⑱ 発 明 者 高 月 清 昭 栃木県下都賀郡大平町大字伯中2691番地 いすゞ自動車工業株式会社栃木製造所内

⑲ 発 明 者 梅 澤 清 彦 横浜市緑区長津田町4259 東京工業大学精密工学研究所内

⑳ 発 明 者 稲 生 武 川崎市川崎区殿町3丁目25番1号 いすゞ自動車株式会社川崎工場内

㉑ 発 明 者 千 田 達 郎 川崎市川崎区殿町3丁目25番1号 いすゞ自動車株式会社川崎工場内

㉒ 出 願 人 いすゞ自動車株式会社 東京都品川区南大井6丁目22番10号

㉓ 代 理 人 弁理士 荒垣 恒輝

明 細 書

1. 発明の名称 音響放射状態の予測方法

2. 特許請求の範囲

振動面の近傍において、音響インテンシティ用の2本の移動マイクロホンと位相基準用の1本の固定マイクロホンを用い、近接する2点の音圧と位相を測定することにより、近接粒子速度と位相を測定し、その分布より振動面の振動モードを検知し、さらに、計測した粒子速度と位相より遠距離での音圧を計算予測することを特徴とする振動放射状態の予測方法。

3. 発明の詳細な説明

(1) 産業上の利用分野

本発明は、とくに近接粒子速度を測定することを特徴とするもので、遠距離音場において音響の放射状態(音圧)を実測しなくても、予測することができる音響放射状態の予測方法に関するものである。

(2) 従来の技術

自動車のエンジンやトランスミッション等機械

装置の壁面がどのように振動し、どのような指向性をもつ音が放射されているかを知ることは騒音対策の観点から重要である。

音源の解析方法として近年音響インテンシティ法(以下AI法という。)が注目され、一般に使用されてきている。AI法は、2本のマイクロホンにより音響エネルギーの流れを計測するもので、これにより音の方向を検出し、容易に音源を同定することが可能となつている。(ジュー、ウワイ、チュング、デー、エイ、ブラザー「クロススペクトル法による音響インテンシティの計測における最近の発展」、米国オートモビルエンジニアリング・ソサイティ 810396(J. Y. Chung and D. A. Blaser: Recent Developments in the Measurement of Acoustic Intensity Using the Cross-Spectral Method, SAE 810396)参照)、阿部武「音響インテンシティ法の応用技術と展望」自動車技術会シンポジウム1983

最近、AI法を応用し、インテンシティばかり

でなく粒子速度分布を、位相をふくめて測定して、振動面の近接音場、さらに、遠距離での指向性との関連について明らかにする研究が行なわれている。(梅澤清彦、北條春夫、北野正:「近接音場計測による板の振動と遠距離音場の推定」日本機械学会講演論文集 847-1 (1984) 240 参照)

音源探査装置(音響インテンシティ測定装置)として、音響インテンシティを測定する装置が市販されているが、振動面の近傍においては正確に音源の位置を示さない場合がある。また、音源から放射される音の振向性や遠距離に発生している音のレベルを知ることができない。

音の放射の予測システム(直接振動を測定する方法)として、音源から放射される音の指向性や遠距離に発生している音のレベルを実験的に予測するのに、従来は振動面を細かく分割して、その表面の振動を測定し、それより指向性および遠距離での音圧を計算していたが、計測に多大の時間と労力を要していた。(落合「ディーゼルエンジンの振動と騒音のよりよき理解のための簡単なモ

デル技術」米国オートモビルエンジニアリングソサイティ, 750834 (T. Ochiai, M. Aisaka and S. Sakata: Simple Model Technique for Better Understanding of Diesel Engine Vibration and Noise, SAE 750834))

音響インテンシティー計測装置として、特開昭58-28631号公報には、音波の進行方向に適宜距離を隔てて配設された1対のマイクロホンと、上記1対のマイクロホンの出力の平均値および差をそれぞれ演算する加算回路および減算回路と、上記減算回路の出力を積分する積分器と、上記積分器の出力と上記加算回路の出力とを乗算する乗算器と、上記乗算器の出力を平均化する平均化回路とを具えた装置が公開されている。

付 発明が解決しようとする問題点

本発明は、従来の音源探査、直接振動測定等より一歩進んで、音源の振動モードや放射される音の指向性を知り、さらに、遠距離地点に生ずる音圧レベルも予測しようとするもので、振動面の近

傍において、近接粒子速度と位相を測定することにより簡便に振動面の振動モードを知り、さらに、計測した粒子速度と位相より音の指向性と遠距離における音圧レベルを知ることができる近接粒子速度測定による音の放射を予測する音響放射状態の予測方法を提供することを目的とする。

(一) 問題点を解決するための手段

本発明の構成は、振動面の近傍において、音響インテンシティ用の2本の移動マイクロホンと位相基準用の1本の固定マイクロホンをを用い、近接する2点の音圧と位相を測定することにより、近接粒子速度と位相を測定し、その分布より振動面の振動モードを検知し、さらに、計測した粒子速度と位相より遠距離での音圧を計算予測することとを特徴とする音響放射状態の予測方法で、3本のマイクロホンを使い音源近接面において、その面と垂直方向の近接粒子速度と位相を測定し、音源の振動モードを知ると共に、このように測定した近接面の情報より遠距離音場での音圧分布を計算、予測するシステムを開発したものである。

附 実施例

本発明の実施例について図面を参照して説明する。

本発明の計測には、第1図に示すように、振動面4に対し垂直方向において近接する任意の2点の音圧 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ を計測するためにAI計測用プローブ(音響インテンシティプローブ)として2本の移動させるマイクロホン1、2と任意の定点の位相基準(フェース レファレンス)信号採取用として1本の固定する定位値のマイクロホン3の計3本のマイクロホンをを用いる。第1図中の符号5、6は、マイクロホン1、2の音響インテンシティ信号(音圧信号)をそれぞれ受けるように、マイクロホン1、2の出力側に接続された騒音計(メジャリングアンプリファイア)で、音圧信号を増巾する。符号7は、マイクロホン3の位相基準信号(音圧信号)を受取るように、マイクロホン3の出力側に接続された騒音計で、音圧信号を増巾する。符号8、9、10は、騒音計5、6、7のそれぞれに接続するローパスフィルタで、

必要な周波数帯域にセットされる。ローパスフィルター8、9、10を経た信号をマイクロコンピュータ11に入力し、マイクロコンピュータ11で演算処理する。そして出力装置に粒子速度分布、音響インテンシティ分布を表示することができる。

第2図に示す振動面における粒子速度計測フロー図について説明すると、

第I段階では、微小距離 $4r$ 離れた2本の移動マイクロホン(音響インテンシティプローブ)1、2の音圧信号を入力とするチャンネル1、2および1個所に固定した1本の固定マイクロホン3の位相差準となる音圧信号を入力とするチャンネル3の計3チャンネルを同時にサンプリングし、

第II段階では、高速フーリエ変換法(FFT法)により、チャンネル1、2の音圧信号のスペクトルを計算し、周波数域で音圧を計算する。

第III段階では、チャンネル3の音圧信号を基準とした周波数応答計算より、チャンネル1、2の音圧信号の周波数域での位相を計算する。

第IV段階では、計算したチャンネル1、2の音

とする。)の粒子速度 $U_r(t)$ を近似的に求めることができる。

2点を結ぶ方向 r の音波の運動方程式

$$\rho \frac{\partial U_r(t)}{\partial t} + \frac{\partial P(t)}{\partial r} = 0 \quad \dots\dots (1)$$

ρ : 空気密度 [kg/m^3]、 t : 時間より、方向 r の粒子速度 U_r は

$$U_r(t) = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial P(t)}{\partial r} dt \quad \dots\dots (2)$$

と表わせる。

ここで $\frac{\partial P(t)}{\partial r} dt$ を距離 dr (近接2点の距離で、マイクロホン1、2の中心間の距離[m])離れた近接2点の音圧 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ で

$$\frac{\partial P(t)}{\partial r} \approx \frac{P_2(t) - P_1(t)}{dr} \quad \dots\dots (3)$$

のように近似して(1)式に代入し

$$U_r(t) \approx -\frac{1}{\rho dr} \int_{-\infty}^t (P_2(\tau) - P_1(\tau)) d\tau \quad \dots\dots (4)$$

τ : 微小時間

と表わすことができる。

圧と位相より粒子速度と位相を計算する。

そして、粒子速度分布、音響インテンシティ分布の等高線を出力することができ、振動面の振動モードを知ることができる。

なお、チャンネル3の位相差準信号はマイクロホンによるものである必要がなく、振動ピックアップによる入力でも使用できる。

データ処理は高速フーリエ変換法(FFT法)により行なっているが、デジタルフィルタを用いた直接積分法によつても処理が可能である。

本発明は、前記振動モードを検知し、さらに計測した粒子速度と位相より遠距離での音圧を計算予測するものである。

つぎに、本発明の粒子速度の測定、遠距離音場の音圧分布の予測、中型トラック用トランスミッションの音響例などについて説明する。

I. 粒子速度の測定

(1) 基礎理論

前記の近接した2点の音圧 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ を計測することにより、その2点を結ぶ方向(方向 r 、

近接2点の音圧 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ を

$$P_1(t) = P_1 \exp j(\omega t + \phi_1) \quad \dots\dots (5)$$

$$P_2(t) = P_2 \exp j(\omega t + \phi_2) \quad \dots\dots (6)$$

ω : 角周波数、 ϕ_1 、 ϕ_2 : 位相

と表わして、(4)式に、(5)、(6)式を代入することにより、粒子速度 $U_r(t)$ は

$$U_r(t) = U_r \exp j(\omega t + \phi_{ur}) \quad \dots\dots (7)$$

ただし

$$U_r = \frac{1}{\rho dr \omega} \sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2P_1 P_2 \cos(\phi_1 - \phi_2)}$$

$$\phi_{ur} = \arg((P_1 \sin \phi_1 - P_2 \sin \phi_2) + j(P_2 \cos \phi_2 - P_1 \cos \phi_1))$$

と表わせる。

(2) 計測方法

第1図に示すように、AI計測プローブ(近接2点の音圧計測用)の移動させるマイクロホン1、2と、振動面4の音場における任意の定点に固定された位相差準となるマイクロホン3からの3チ

チャンネルの信号を、順音計5、6、7、ローパスフィルター8、9、10を経て、同時にサンプリングし、コンピュータ11により、高速フーリエ変換(FFT法)による演算処理を行う。すなわち、位相基準信号と近接2点との間の周波数応答関数を計算し、さらに、近接2点で使用するマイクロホン1、2の位相特性の相違に基因する位相誤差を補正して近接2点の音圧 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ の位相 ϕ_1 、 ϕ_2 を定めることができる。こうして、後記する周波数391 Hz、781 Hz、1172 Hz等の各周波数において求めた近接2点の音圧 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ と位相 ϕ_1 、 ϕ_2 を用いて(7)式に代入することにより粒子速度 $U_r(t)$ と位相 ϕ_1 、 ϕ_2 を求めることができる。

(3) スピーカによる実験装置

第3図に示すように、音源として直径10cmの3個のスピーカ12、13、14を17.5cmおきに一列に並べたスピーカボックス15を用い、各スピーカ12、13、14が大型乗車無響室内の床より1.2mの高さの位置になるように配置し、無響室内において実験する。3個のスピーカ12、13、14には同一の矩

図中において、中央音源(スピーカ13の音源のドット(・)混じりの等高線は、粒子速度においては逆相部分を示し、音響インテンシティにおいては負の部分を示す。第5図の音響インテンシティ分布で注目されるのは、391 Hzにおいて中央部分が負になつてゐることである。これはこの部分においてエネルギーの流れが面に向つてゐることを示し、この周波数において、音響インテンシティ分布のみで音源の位置を同定できるとは言えない。このように、音源部であるにもかかわらず音響インテンシティが負になる現象は従来より指摘されており、音響インテンシティの測定時に注意すべき点とされている(阿部武「音響インテンシティ法の応用技術と展望」自動車技術会「最近の振動騒音解析技術と大型車の騒音対策に関するシンポジウム」(1983)参照)。それに対して、粒子速度分布はスピーカの振動モードも含めて、良く音源の正確な情報を伝えていると言える。

II 遠距離音場の音圧分布の予測

(1) 基礎理論

形波信号を入力する。ただし、中央のスピーカ13については配線を逆にして入力信号の位相を180°ずらしている。

計測は、スピーカ表面ABDC(XZ平面)(表面ABDCの枠は振動部分の輪郭を表わす。)より20mmの距離の近接面X'Z'平面(計測面)において、25mm間隔で $9 \times 23 = 207$ の格子点Nm上でX'Z'平面に垂直方向(Y方向)の粒子速度 $U(t)$ を計測する。なお、近接2点のマイクロホン1、2間の距離 $4r$ は12mmとする。

(4) 粒子速度分布測定結果

スピーカ12、13、14表面の粒子速度分布と、同時に計測した音響インテンシティ分布を等高線表示したものを第4図および第5図に示す。第4図は粒子速度分布、第5図は音響インテンシティ分布を示し、各図(a)は391 Hz、各図(b)は781 Hz、各図(c)は1172 Hzの場合を示し、粒子速度の単位はm/sec($\times 10^3$)、音響インテンシティの単位はdBである。等高線中の数字は各単位による計測値である。

振動面(X'Z'面)4の放射音は微小要素に分割し、それぞれを点音源とみなして計算する。

第6図に示すように、 $n \times m$ 個に分割された平面($a_{11} a_{1n} a_{m1} a_{mn}$ 平面)上で、面積 S_{ij} をもつ要素 a_{ij} が

$$\dot{\xi} = V_{ij} \exp j(\omega t + \phi_{ij}) \quad \dots\dots (8)$$

V_{ij} : 振動速度、 ϕ_{ij} : 位相の速度で振動してゐるとすると、点Pにおける速度ポテンシャル ϕ は、

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{V_{ij} S_{ij} \exp j(\omega t + \phi_{ij} - k r_{ij})}{r_{ij}} \quad \dots\dots (9)$$

k : 波長定数、 r_{ij} : 要素 a_{ij} から点Pまでの距離と表わされる。これより点Pの音圧 p は、

$$p = \rho \dot{\phi} = j \rho \frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots (10)$$

により計算できる。

(2) 音圧分布の計算と測定結果

振動表面の振動速度のかわりに、近接面におけ

る垂直方向(Y方向)の粒子速度によつても音圧 $P(t)$ は計算できる。(前記機械学会論文集参照)計測した粒子速度 $U_r(t)$ と位相 ϕ を使い、前述 II (1) の理論にあてはめて遠距離音場の音圧分布を計算できる。

実験を行なう実車無響室の床面は固いコンクリートであり、反射率はほぼ 1.0 と考えられるために、第 7 図に示すように、鏡面原理を適用して床面 F に対称な位置にも実際の音源 a_{ij} と等価な音源 a'_{ij} を設定して計算を行なう。

図面中 r_{ij} は要素 a_{ij} から点 P までの距離と直接放射方向を示す。R は反射放射方向を示す。

第 8 図に示すように、前記スピーカと同じく、床下から 1.2 m の高さの遠距離音場 EFHG (音圧分布測定面) で符号 H の間隔を 0.5 m とし、0.5 m 間隔の $8 \times 9 = 72$ の格子点 Nr 上の音圧 $P(t)$ を計算し、5 dB 間隔で等高線表示を行なう。その計算結果(予測結果)と、実際に同じ格子点 Nr 上で測定した音圧分布の実測結果を第 9 図および第 10 図に示す。スピーカ間の干渉現象と床面 F の反射

により複雑な音圧分布になつているにもかかわらず、計算と実測は音の指向性、音圧レベル共に良く一致している。

第 9 図は音圧分布予測結果を、第 10 図は音圧分布実測結果を示し、各図(a)は 391 Hz、各図(b)は 781 Hz、各図(c)は 1172 Hz の場合を示し、音響インテンシティの単位は dB である。

Ⅱ 自動車のトランスミッション壁面への適用
中型トラック用トランスミッションの壁面からの放射音の予測を試みた例について、第 11 図ないし第 14 図を参照して説明する。

無響室 16 において、壁面の共振周波数でトランスミッション底部をシェーカーで加振し、壁面の近接面 I J L K において粒子速度 $U_r(t)$ を測定した。壁面から測定面である近接面 I J L K までの距離は 20~40 cm であり、25 cm 間隔で $13 \times 14 = 182$ の格子点上で測定した。なお、測定する壁面以外は遮音した。

測定した粒子速度 $U_r(t)$ より、遠距離音場の音圧分布を予測し、実測した結果と比較する。

第 12 図に測定面 I J L K の粒子速度分布を、第 13 図に予測した遠距離音場の音圧分布を、第 14 図には実測した遠距離音場の音圧分布を示し、各図(a)は 742 Hz、各図(b)は 1348 Hz の場合で、粒子速度の単位は $m/sec (\times 10^{-3})$ 、音圧の単位は dB である。遠距離音場 I、K-J、L の大きさは KL が 4.0 m、JL が 3.5 m、壁面の測定面 I J L K から遠距離音場 I、K-J、L までの距離は 4.0 m である。

スピーカの場合と同様に壁面の振動モードがよくわかり、また、予測した音圧分布と実測とは良く一致している。

(ハ) 発明の効果

本発明は、上記のような構成であるから、振動面の近接点において、粒子速度とその位相を計測した結果より振動面の振動モードを知ることができ、さらに、近接面の粒子速度より予測した遠距離での音圧分布が実測と良く一致し、音響インテンシティ測定に対して、従来の方法では不可能であつた音源の振動モードの推定、音の指向性の予測、遠距離に発生する音圧の予測が可能となり、

直接振動を測定する方法に対しては、計測が簡便であり、計測時間の大巾な時間短縮が可能となる等、騒音対策に貢献するところが大きく産業上利用効果が大きいという格別の効果がある。

4 図面の簡単な説明

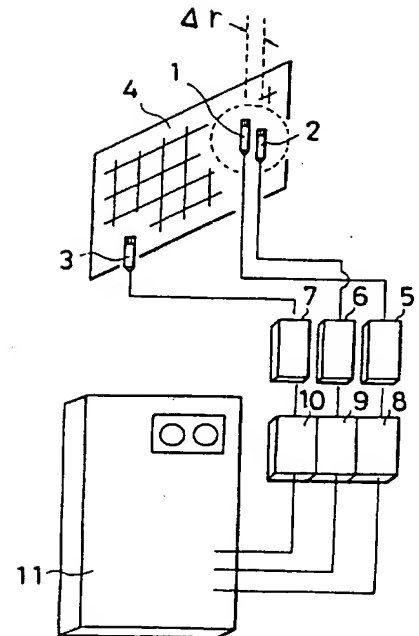
第 1 図は粒子速度計測システム図、第 2 図は粒子速度計測フロー図、第 3 図はスピーカによる実験装置の説明図である。第 4 図はスピーカ表面の粒子速度分布図で、同図(a)は 391 Hz、同図(b)は 781 Hz、同図(c)は 1172 Hz の各場合を示す。第 5 図はスピーカ表面の音響インテンシティ分布図で、同図(a)は 391 Hz、同図(b)は 781 Hz、同図(c)は 1172 Hz の各場合を示す。第 6 図は音圧計算の座標系図、第 7 図は床の反射のモデル図、第 8 図は音場の音圧分布面図である。第 9 図は遠距離音場の音圧分布予測結果図で、同図(a)は 391 Hz、同図(b)は 781 Hz、同図(c)は 1172 Hz の各場合を示す。第 10 図は遠距離音場の音圧分布実測結果図で、同図(a)は 391 Hz、同図(b)は 781 Hz、同図(c)は 1172 Hz の各場合を示す。第 11 図は自動車のトランスミッシ

第 1 図

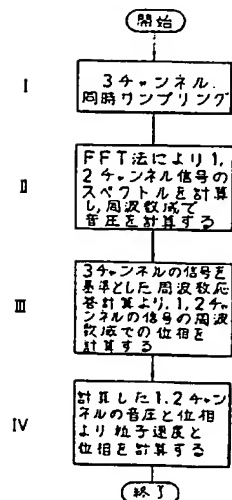
ヨンの説明図である。第12図は第11図のトランスミッション壁の測定面の粒子速度分布図で、同図(a)は742 HZ、同図(b)は1348 HZの各場合を示す。第13図はトランスミッションの遠距離音場の音圧分布予測結果図で、同図(a)は742 HZ、同図(b)は1348 HZの各場合を示す。第14図はトランスミッションの遠距離音場の音圧分布実測結果図で、同図(a)は742 HZ、同図(b)は1348 HZの各場合を示す。

- 1, 2, 3 ... マイクロホン
 4 ... 音響振動面 5, 6, 7 ... 騒音計
 8, 9, 10 ... ローパスフィルター
 11 ... コンピュータ 12, 13, 14 ... スピーカ
 15 ... スピーカボックス 16 ... 無響室

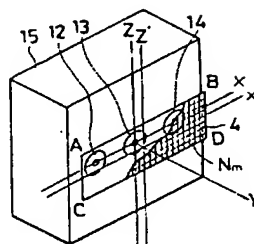
代理人 荒 垣 恒 輝



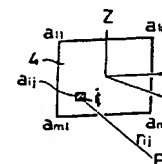
第 2 図



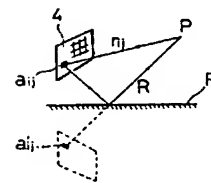
第 3 図



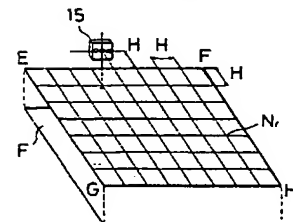
第 6 図



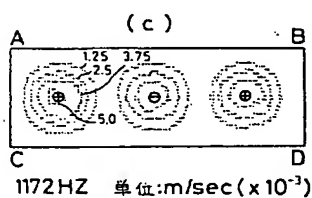
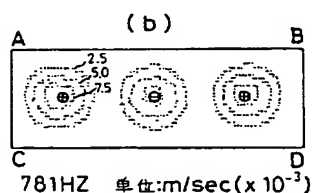
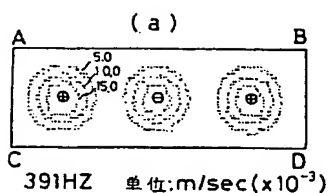
第 7 図



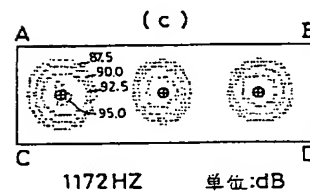
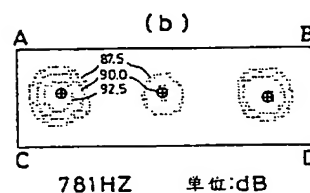
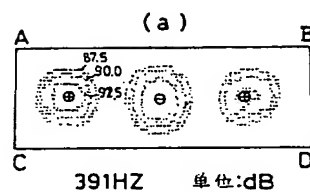
第 8 図



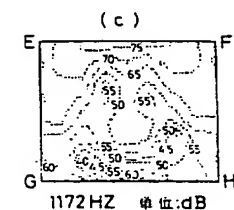
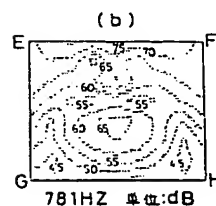
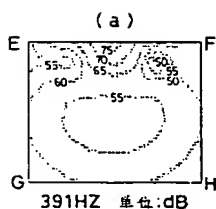
第 4 図



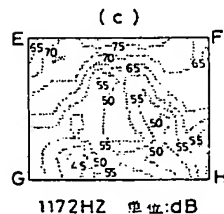
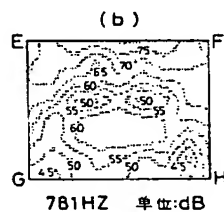
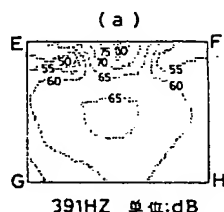
第 5 図



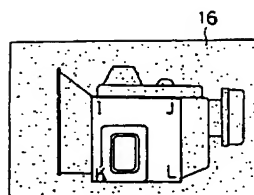
第 9 図



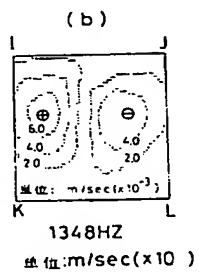
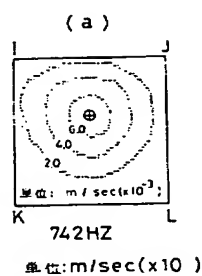
第 10 図



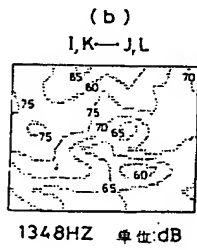
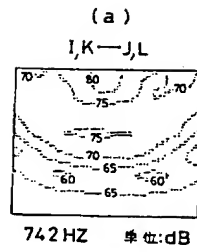
第 11 図



第 12 図



第 13 図



第 14 図

